

Estimasi *Value at Risk* pada Portofolio Nilai Tukar Mata Uang dengan Pendekatan Copula

Farida Ariany, Heri Kuswanto dan Suhartono

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: chili@statistika.its.ac.id; heri_k@statistika.its.ac.id; suhartono@statistika.its.ac.id

Abstrak— Interaksi kurs, saham, dan suku bunga memiliki hubungan sangat besar dengan pasar uang. Resiko investasi tidak hanya pada portofolio saham saja, namun pada portofolio kurs. Stabilitas terhadap nilai tukar mata uang suatu negara merupakan hal yang penting dan berdampak pada tingkat perekonomian negara. Penelitian ini mengestimasi *Value at Risk* (*VaR*) portofolio kurs menggunakan Copula- *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedastic* (GARCH) serta simulasi Monte Carlo, hal ini bertujuan agar investasi yang dilakukan memberikan resiko yang minimal dan *return* yang didapatkan optimal. Sebagai studi kasus digunakan nilai tukar mata uang *the euro* (EURO), *the United States dollar* (USD), *the pound sterling* (GBP), dan *the Malaysian ringgit* (MYR). Apabila melakukan investasi dalam keempat mata uang secara merata maka akan didapatkan *VaR* atau kerugian maksimum sebesar 4,507% dengan tingkat kepercayaan 95% dan tingkat kepercayaan 99%, kerugian maksimum yang ditanggung investor sebesar 6,501%.

Kata Kunci—Portofolio, kurs, Copula, GARCH, *Value at Risk*.

I. PENDAHULUAN

INTERAKSI kurs, saham, dan suku bunga memiliki hubungan sangat besar dengan pasar keuangan. Seorang investor tentu saja akan memperhitungkan *risk* dan *return* dari kegiatan berinvestasi. Resiko investasi tidak hanya pada portofolio saham saja, namun pada portofolio kurs. Stabilitas terhadap nilai tukar mata uang suatu negara merupakan hal yang penting dan berdampak pada tingkat perekonomian negara tersebut dimana fluktuasi nilai tukar uang sangat mempengaruhi investasi asing yang masuk di Indonesia. Bagi investor asing di Bursa Efek Indonesia selain melakukan perhitungan *return* dari investasi dalam portofolio saham di Indonesia, mereka juga memperhitungkan nilai tukar atau kurs dalam keputusan bisnisnya. [1] menjelaskan bahwa resiko pertukaran didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa fluktuasi mata uang dapat mengubah jumlah yang diharapkan atau perubahan arus kas perusahaan di masa yang akan datang. Fluktuasi perubahan nilai tukar akan menimbulkan resiko dimana semakin tinggi fluktuasinya maka risikonya akan semakin besar, dan sebaliknya semakin rendah fluktuasinya maka risikonya akan semakin kecil sehingga berdampak pada laba dan rugi perusahaan. *Value at Risk* atau *VaR* diartikan sebagai kemungkinan maksimum perubahan dari suatu portofolio berdasarkan probabilitas tertentu yang diberikan [2]. Untuk mem-

bantu investor dalam menentukan portofolio yang lebih efisien. Portofolio dibentuk dari data *return* harian kurs karena data *return* harian mampu memberikan nilai informasi mengenai estimasi struktur varians kovarian *return* di masa mendatang [3].

Pada penelitian ini mata uang yang dipakai adalah mata uang *Euro* (EURO), *United States dollar* (USD), *pound sterling* (GBP), dan *Malaysian Ringgit* (MYR). Empat mata uang ini dianggap memiliki pengaruh tertinggi pada fluktuasi nilai tukar mata uang di dunia terutama di Indonesia. Mata uang tersebut juga memiliki nilai tukar yang tinggi dibandingkan mata uang yang lainnya [4]. Analisa *VaR* juga dilakukan [5] dengan menggunakan *Bayesian Information Criterion* (BIC). Namun pada estimasi BIC membutuhkan ukuran sampel yang sangat besar agar ukuran portofolio BIC yang dihasilkan tetap konsisten. Studi *VaR* menggunakan Copula juga dikemukakan oleh banyak peneliti sebelumnya, [6] menggunakan Copula model *VaR*-ARMAX-the GJsten Jagannathan Runkle (GJR)-GARCH dan [4] menggunakan Copula *VaR*-GARCH. Penelitian ini dilakukan untuk membentuk portofolio yang optimal pada nilai tukar mata uang agar investasi yang dilakukan memberikan resiko yang minimal dan *return* yang didapatkan optimal dengan mengestimasi *VaR* portofolio kurs menggunakan Copula *VaR*-GARCH serta simulasi Monte Carlo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Return dan Risk

Return merupakan imbalan atas keberanian investor menanggung resiko atas investasi yang dilakukan [7]. *Return* harian untuk masing-masing harga kurs dikenal dengan sebutan *return individual*. *Return* ini merupakan presentase dari logaritma natural harga kurs pada waktu t dibagi harga kurs pada waktu $t-1$.

$$r_t = \ln \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad (1)$$

P_{t-1} adalah harga kurs pada waktu $t-1$ sehingga P_t adalah harga kurs pada waktu t . Tingkat *return* yang diterima investor pada waktu t didefinisikan sebagai r_t [8]. *Risk* atau resiko merupakan kemungkinan perbedaan antara *re-turn* aktual yang diterima dengan *return* yang diharapkan.

B. Portofolio, Kurs Valuta Asing, dan Keseimbangan Kurs

Portofolio berarti sekumpulan sekuritas dimana dengan sejumlah dana relatif kecil dapat diinvestasikan dengan menggunakan lebih dari satu jenis mata uang, selain itu dengan portofolio akan mengurangi resiko. Harga suatu mata uang terhadap mata uang lainnya disebut kurs atau nilai tukar mata uang/*exchange rate* [9]. Kurs terbentuk pada saat jumlah dan harga mata uang yang diminta sama dengan jumlah dan harga mata uang yang ditawarkan.

C. Proses Autoregressive (AR), Moving Average (MA), dan Autoregressive Moving Average (ARMA)

Proses *Autoregressive* menggambarkan situasi dimana nilai Y_t pada saat ini bergantung pada nilai-nilai sebelumnya (Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots) ditambah dengan suatu proses *white noise* $\{a_t\}$. Secara umum model AR dengan orde p atau dapat dituliskan AR(p) dirumuskan

$$\dot{Y}_t = \phi_1 \dot{Y}_{t-1} + \phi_2 \dot{Y}_{t-2} + \dots + \phi_p \dot{Y}_{t-p} + a_t \quad (2)$$

Proses *Moving Average* (MA) menunjukkan bahwa nilai prediksi variabel dependen \dot{Y}_t dipengaruhi oleh nilai *error* pada periode sebelumnya. Secara umum model MA dengan orde q atau dapat dituliskan MA(q) dirumuskan sebagai

$$\dot{Y}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

Karena $1 + \theta_1^2 + \dots + \theta_q^2 < \infty$, proses MA dengan orde q selalu stasioner. Model gabungan AR dan MA disebut *Autoregressive Moving Average* (ARMA) atau sering disebut juga sebagai model *mixed*. Secara umum model ARMA(p, q) dapat dituliskan sebagai

$$\dot{Y}_t = \phi_1 \dot{Y}_{t-1} + \dots + \phi_p \dot{Y}_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}, \quad (4)$$

atau $\phi_p(B)\dot{Y}_t = \theta_q(B)a_t$.

Kriteria untuk menentukan model yang terbaik dan akurat, berikut kriteria pemilihan model terbaik *in-sample* terdiri dari:

1. AIC (*Akaike's Information Criterion*)

$$AIC = n \ln(\hat{\sigma}^2) + 2n_p \quad (5)$$

2. SBC (*Schwartz's Bayesian Criterion*)

$$SBC = n \ln(\hat{\sigma}^2) + n_p \ln(n) \quad (6)$$

3. BIC dirumuskan sebagai

$$BIC = n \ln(\hat{\sigma}^2) + n_p + n_p \ln(n) \quad (7)$$

dengan $\hat{\sigma}^2$ merupakan varians dari residual, n menyatakan banyaknya residual dan n_p menunjukkan jumlah parameter dalam model.

D. Model Struktur Dependensi

Untuk model struktur ketergantungan dari *return* kurs, digunakan dua langkah prosedur.

1. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH)

Model yang lebih umum dari ARCH adalah *Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity* GARCH (p, q)

yang di-kembangkan oleh [10], model ini didefinisikan sebagai:

dimana $v_t \sim N(0,1)$
 $\theta_t = \text{nilai residual ke-} t \text{ yang diperoleh dari model ARMA}$
 $v_t = \text{nilai residual ke-} t \text{ dari model}$

$$h_t = \gamma_0 + \sum_{i=1}^q \gamma_i a_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i} \quad (8)$$

dengan asumsi:

i. v_t dan $\sqrt{h_t}$ independen untuk setiap t

ii. $v_t \sim N(0,1)$

Langkah-langkah pengujian mengikuti prosedur yang dilakukan oleh [11] yaitu sebagai berikut:

1. Rumusan hipotesis

$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_k = 0$ (tidak terdapat proses ARCH / GARCH)

H_0 : minimal ada satu $\gamma_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, k$ (terdapat proses ARCH / GARCH)

2. Statistik Uji

$$Q(k) = N(N+2) \sum_{k=1}^n \frac{\rho(k)}{N-k} \quad (9)$$

dimana N merupakan banyaknya parameter

3. Kriteria Pengujian

Tolak H_0 , jika $Q(k) > \chi^2_{(1-\alpha), \frac{N}{4}}$

2. Copula

Copula adalah metode yang digunakan untuk menghubungkan variabel random secara bersama-sama dan merupakan distribusi multivariat. Dilakukan transformasi Variabel random (X) menggunakan CDF ke U dimana berdistribusi uniform dan mentransformasikan lagi menjadi distribusi normal menggunakan invers fungsi probabilitas normal.

Gumbel Copula bivariat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_{\theta_g}(u, v) \stackrel{\text{def}}{=} \exp \{ -[(-\ln u)^{\theta_g} + (-\ln v)^{\theta_g}]^{1/\theta_g} \} \quad (11)$$

Parameter θ_g diperoleh dari semua nilai pada interval $[1, \infty)$. Gumbel Copula ditandai koefisien korelasi sampel data empirik (tau Kendall ρ_T) digunakan dengan rumus $\rho_T = 1 - 1/\theta$. Clayton Copula bivariat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C^{Cl}_{\theta_c}(u_1, u_2) = (u_1^{-\theta_c} + u_2^{-\theta_c} - 1)^{-1/\theta_c}, 0 < \theta_c < \infty \quad (12)$$

Jika θ_c mendekati nol maka Clayton Copula menjadi copula independen. Clayton Copula ditandai koefisien korelasi sampel data empirik (tau Kendall ρ_T) digunakan dengan rumus $\rho_T = \theta/(\theta + 2)$. Frank bivariat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C^{Fr}_{\theta}(u_1, u_2) = -\frac{1}{\theta} \log \left(1 + \frac{(e^{-\theta u_1} - 1) \cdot (e^{-\theta u_2} - 1)}{e^{\theta} - 1} \right) \quad (13)$$

Copula Clayton mempunyai tail dependensi di bagian bawah, Copula Frank tidak mempunyai tail dependensi, dan Copula Gumbel mempunyai tail dependensi di bagian atas yaitu pada daerah maksimum [4].

E. Value at Risk dengan metode simulasi Monte Carlo

Value at Risk (VaR) dapat diartikan sebagai estimasi kerugian maksimum yang akan dialami suatu portofolio pada periode waktu tertentu dengan tingkat kepercayaan tertentu. Secara teknis, VaR dengan tingkat kepercayaan $(1-\alpha)$ dinyatakan sebagai bentuk kuantil ke- α dari distribusi *return*. Jika W_0 didefinisikan sebagai investasi awal kurs maka nilai kurs pada akhir suatu periode waktu adalah $W = W_0(1+r)$. Jika nilai kurs paling rendah adalah $W^* = W_0(1+r^*)$ pada tingkat kepercayaan $(1-\alpha)$, maka VaR pada tingkat kepercayaan $(1-\alpha)$ dapat diformulasikan sebagai berikut

$$VaR_{(1-\alpha)} = W_0 r^* \quad (14)$$

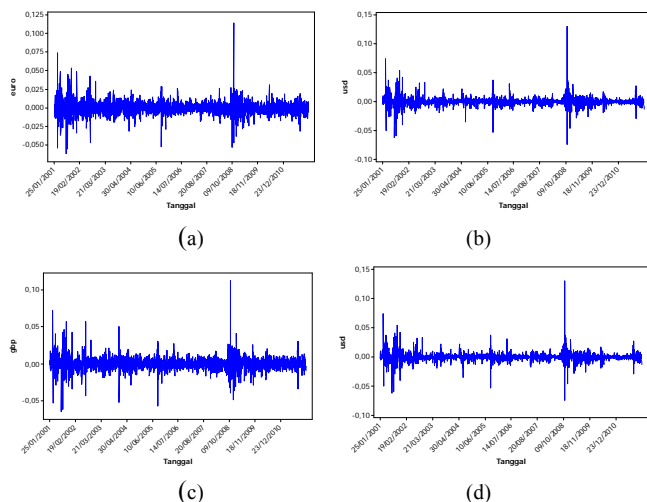
dengan r^* adalah kuantil ke- α dari distribusi *return*. Secara umum, r^* berharga negative [12].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang didapat dari Bank Indonesia yang diakses melalui website <http://www.bi.go.id/>. Data yang diambil adalah data harian *historical closing price*. Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kurs jual dan kurs beli empat mata uang (USD, EURO, GBP, dan MYR). Data yang digunakan mulai dari 24 Januari 2001 sampai 20 Januari 2012.

IV. HASIL PENELITIAN

Sebelum melakukan estimasi parameter dari masing-masing nilai tukar mata uang ini, data *return* ini diplotkan terhadap waktu terlebih dahulu untuk mengetahui fluktuasi dari masing-masing nilai tukar mata uang. Berikut adalah plot dari masing-masing nilai tukar mata uang:



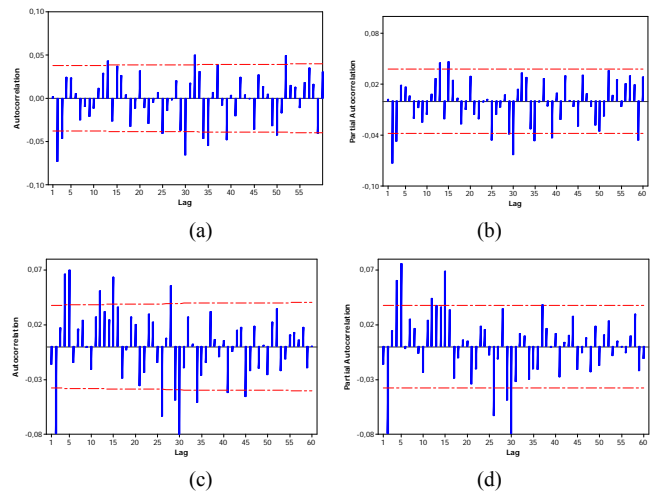
Gambar 1. Fluktuasi *Return* Nilai Tukar Rupiah terhadap EURO (a), USD (b), GBP (c), dan MYR (d)

Pada keempat plot *return* nilai tukar mata uang terhadap rupiah menunjukkan bahwa data *return* tersebut stasioner karena rata-rata data pengamatan berada pada satu nilai konstan,

yaitu nol. Apabila nilai *return* bertanda positif menandakan terjadi kenaikan nilai tukar mata uang tersebut terhadap rupiah sedangkan apabila nilai tukar mata uang tersebut bertanda negatif terjadi penurunan nilai tukar mata uang tersebut terhadap rupiah. Kemudian dilakukan analisis tiap-tiap mata uang hingga akhirnya analisis dilakukan secara serentak semua mata uang dalam copula.

A. Pemodelan ARIMA

Pemodelan ARIMA merupakan langkah awal dalam penelitian ini. Pemodelan ARIMA ini diawali dengan memeriksa kestasioneran data. Kestasioneran ini dapat diketahui melalui plot deret waktu, ACF, dan *boxplot*. Setelah diperoleh data yang stasioner dalam *mean*, tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi model melalui plot-plot ACF dan PACF. Pada plot ini tidak ditampilkan keempat variabel hanya dua variabel sebagai contoh untuk menampilkan visualisasi dengan menggunakan ACF dan PACF. Berikut disajikan plot ACF dan PACF dengan 60 lag dari dua variabel (EURO dan USD).



Gambar 2. ACF dari EURO(a), USD(c), dan PACF dari EURO(b), USD(d),

Pada plot ACF dan PACF di atas menjelaskan bahwa banyak lag yang keluar batas kemudian dilakukan pemodelan menggunakan ARIMA subset. Sehingga didapatkan model

Tabel 1.
Nilai Statistik Uji t pada penaksiran parameter

Mata uang	Parameter	Koefisien	Lag	$ t_{hit} $	p-value
EURO	θ_2	0,06916	2	3,61	0,0003
	θ_3	0,04386	3	2,29	0,0222
	θ_{13}	-0,05293	13	-2,76	0,0058
	θ_{25}	0,04347	25	2,26	0,0238
	θ_{30}	0,05547	30	2,89	0,0039
USD	θ_2	0,07678	2	4,01	<,0001
	θ_4	-0,04983	4	-2,61	0,0091
	θ_5	-0,06814	5	-3,59	0,0003
	θ_{12}	-0,04768	12	-2,50	0,0126
	θ_{13}	-0,04071	13	-2,13	0,0332
	θ_{14}	-0,04022	14	-2,10	0,0360
	θ_{15}	-0,05463	15	-2,85	0,0044
	θ_{26}	0,03815	26	2,00	0,0460
	θ_{29}	0,04755	29	2,49	0,0129
	θ_{30}	0,07168	30	3,74	0,0002

Lanjutan Tabel 1.

Mata uang	Parameter	Koefisien	Lag	$ t_{hit} $	p-value
GBP	ϕ_{21}	-0,04356	21	-2,26	0,0242
	θ_2	0,06190	2	3,23	0,0012
	θ_{22}	0,05631	22	2,93	0,0034
	θ_{25}	0,05034	25	2,62	0,0088
	θ_{30}	0,06218	30	3,24	0,0012
	ϕ_5	0,04140	5	2,12	0,0339
MYR	ϕ_{26}	-0,04443	26	-2,30	0,0216
	θ_1	0,15296	1	8,00	<,0001
	θ_2	0,07894	2	4,12	<,0001
	θ_4	-0,06130	4	-3,21	0,0013
	θ_{15}	-0,08414	15	-4,46	<,0001
	θ_{23}	-0,04027	23	-2,14	0,0324
	θ_{29}	0,05047	29	2,64	0,0083
	θ_{30}	0,06783	30	3,53	0,0004

Berdasarkan pengujian signifikansi parameter di atas, tolak H_0 (parameter signifikan) jika $p\text{-value} < \alpha$ atau dengan menggunakan $|t_{hit}| > t_{1-\alpha/2; df=n-n_p}$, maka dapat disimpulkan bahwa semua parameter untuk model tersebut signifikan karena memiliki $p\text{-value}$ yang kurang dari 0,05. Selanjutnya adalah pengujian asumsi *error white noise* dengan menggunakan uji *Chi-Square* sebagai berikut:

Tabel 2.
Nilai Statistik Uji *Chi-Square Error* model

Mata Uang	Sampai Lag	df	χ^2_{hit}	p-value
EURO	6	1	2,22	0,1360
	12	7	8,78	0,2688
USD	18	8	13,99	0,0819
	24	14	19,99	0,1305
GBP	12	7	8,89	0,2607
	18	13	13,83	0,3859
MYR	12	3	7,40	0,0602
	18	9	13,85	0,1279

Pada pengujian asumsi *error white noise*, gagal tolak H_0 (*error* memenuhi asumsi *white noise*) karena $[\chi^2_{hit} < \chi^2_{1-\alpha; k-m}]$ atau $p\text{-value} > \alpha$. $P\text{-value}$ semua model lebih besar dari 0,05, sehingga dapat dikatakan bahwa semua *error* memenuhi asumsi *white noise*. Setelah dilakukan pengujian asumsi *error white noise*, tahapan selanjutnya adalah memilih model terbaik berdasarkan nilai kriteria *in-sample* dan *out-sample* yang terkecil. Kriteria pemilihan model terbaik sebagai berikut:

Tabel 3.
Nilai Kriteria *in-sample* dan *out-sample* permodelan ARIMA

Mata Uang	IN-SAMPLE		RMSE
	AIC	SBC	
EURO	-17613,7	-17584,2	0,009197
USD	-18667,6	-18608,6	0,007556
GBP	-17762,3	-17732,8	0,008968
MYR	-18194,6	-18141,5	0,008271

Pada tabel di atas, terlihat nilai kriteria *in-sample* dan *out-sample* model semua kurs lebih kecil dibandingkan model yang lain sehingga model-model tersebut yang terbaik. Setelah didapatkan model terbaik dari ARIMA *subset*, dilakukan analisis GARCH (1,1) karena varians *error* dari nilai *return* tersebut tidak konstan.

B. Pemodelan GARCH (1,1)

Langkah selanjutnya adalah memeriksa apakah residual dari model tersebut konstan atau tidak. Pengujian keberadaan efek ARCH/GARCH terhadap residual data *return* mata uang EURO yang dimodelkan menggunakan plot ACF residual dan uji *Ljung Box Q*. Berdasarkan ACF dari residual, terlihat bahwa terdapat banyak lag yang keluar batas maka asumsi varians residual adalah homogen tidak terpenuhi. Pengujian keberadaan efek ARCH/GARCH terhadap residual ARIMA se-suai dengan persamaan (10). Setelah dilakukan pengujian *Ljung Box*, dapat diketahui bahwa Tolak H_0 yang berarti terdapat proses ARCH/GARCH pada a_t^2 karena $Q(k) > \chi^2_{((1-\alpha), \frac{T}{4})}$ dan

$p\text{-value} < \alpha$. Hal ini menunjukkan bahwa varians pada residual ARIMA tidak stabil. Pendugaan parameter model GARCH (1,1) menggunakan *Maximum Likelihood* (ML), pada keempat *return* nilai tukar mata uang didapatkan model ARIMA GARCH (1,1) sebagai berikut:

IDR-EURO:

$$Y_t = a_t - 0,06916a_{t-2} - 0,04386a_{t-3} + 0,05293a_{t-13} - 0,04347a_{t-25} - 0,05547a_{t-30}$$

$$h_t = 8,4859e - 07 + 0,0852a_{t-1}^2 + 0,9099h_{t-1}$$

IDR-USD:

$$Y_t = a_t - 0,07678a_{t-2} + 0,04983a_{t-4} + 0,06814a_{t-5} + 0,04768a_{t-12} + 0,04071a_{t-13} + 0,04022a_{t-14} + 0,05463a_{t-15} + 0,03815a_{t-26} - 0,04755a_{t-29} - 0,07168a_{t-30}$$

$$h_t = 3,5216e - 06 + 0,5982a_{t-1}^2 + 0,5124h_{t-1}$$

IDR-GBP:

$$Y_t = -0,04356Y_{t-21} + a_t - 0,06190a_{t-2} - 0,05631a_{t-22} + 0,05034a_{t-25} - 0,06218a_{t-30}$$

$$h_t = 4,8093e - 06 + 0,2037a_{t-1}^2 + 0,7524h_{t-1}$$

IDR-MYR:

$$Y_t = 0,04140Y_{t-5} - 0,04443Y_{t-26} + a_t - 0,15296a_{t-1} - 0,07894a_{t-2} + 0,06130a_{t-4} + 0,08414a_{t-15} + 0,04027a_{t-23} - 0,05047a_{t-29} + 0,06783a_{t-30}$$

$$h_t = 3,7051e - 06 + 0,6226a_{t-1}^2 + 0,5116h_{t-1}$$

Langkah-langkah pendekatan Copula, sesuai dengan tujuan awal sebagai berikut:

1) Korelasi residual GARCH (1,1)

Pada *scatter plot* tidak menunjukkan trend yang spesifik atau tidak menunjukkan pola tertentu, sehingga kesimpulan yang berkaitan dengan korelasi dari kedua variabel sulit dijelaskan. Untuk itu dilakukan pengukuran menggunakan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau Kendall maka diperoleh hasil seperti yang disajikan berikut:

Tabel 4.
Koefisien korelasi residual GARCH (1,1)

Kombinasi		Pearson	Kendall	Spearman
EURO-USD	Korelasi	0,6396074	0,2552926	0,3638799
	p-value	< 2,2x 10 ⁻¹⁶	< 2,2x 10 ⁻¹⁶	< 2,2x 10 ⁻¹⁶
EURO-GBP	Korelasi	0,7986074	0,5441806	0,7227039
	p-value	< 2,2x 10 ⁻¹⁶	< 2,2x 10 ⁻¹⁶	< 2,2x 10 ⁻¹⁶

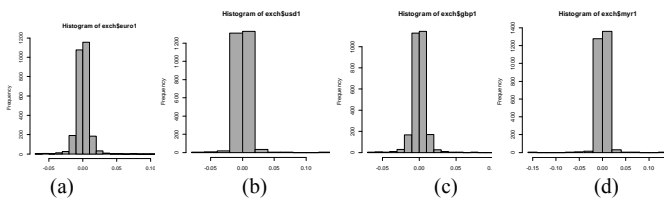
Lanjutan Tabel 4.

Kombinasi		Pearson	Kendall	Spearman
EURO-MYR	Korelasi	0,6085033	0,3319576	0,4658928
	p-value	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$
USD-MYR	Korelasi	0,6960263	0,3143208	0,4420152
	p-value	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$
USD-GBP	Korelasi	0,7912191	0,5480204	0,694414
	p-value	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$
GBP-MYR	Korelasi	0,6279733	0,3482172	0,4856742
	p-value	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$	$< 2,2 \times 10^{-16}$

Terlihat bahwa korelasi dari ketiga pengukuran memiliki p -value $< 0,05$ artinya antara kedua variabel memiliki hubungan meskipun kecil.

2) Pengujian Ketidaknormalan

Untuk mengetahui distribusi marginal dari kedua variabel maka secara empirik dapat diperoleh dengan membentuk histogram. Bentuk histogram dari masing-masing variabel dapat dilihat sebagai berikut:

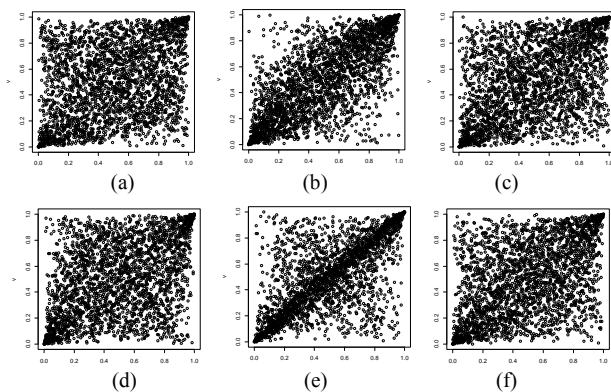


Gambar 3. Histogram nilai tukar IDR-EURO (a), IDR-USD (b), IDR-GBP (c) dan IDR-MYR (d)

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa masing-masing variabel residual GARCH (1,1) memiliki bentuk histogram yang tidak simetris dan memiliki yang *skew* panjang. Bentuk histogram semacam ini menunjukkan bahwa residual GARCH (1,1) pada mata uang EURO, USD, GBP, dan MYR berdistribusi tidak normal. Selanjutnya yaitu melakukan pendekatan copula dengan mentransformasikan variabel.

3) Pendekatan Copula

Dalam menganalisis menggunakan Copula, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mentransformasi kedua variabel ke dalam distribusi marginal uniform. Bentuk *scatter-plot* hasil transformasi kedua variabel pada domain $[0,1]$ akan disajikan dalam uraian sebagai berikut.



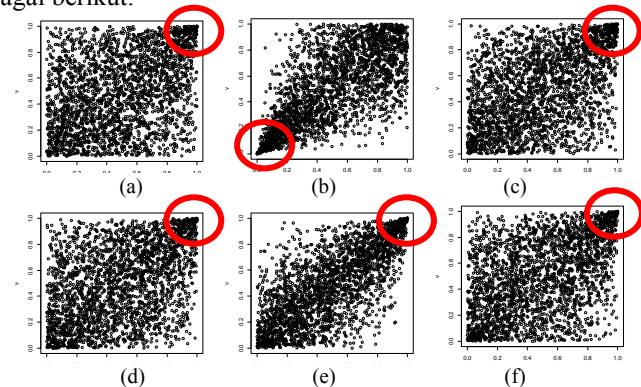
Gambar 4. Scatter plot pada transformasi uniform $[0,1]$ antara USD –EURO (a) GBP-EURO (b) MYR-EURO (c) GBP-USD (d) GBP-MYR (e) USD-MYR (f)

Gambar 4 menunjukkan bahwa plot-plot yang saling berdekatan dan menumpuk pada interval tertentu menunjukkan adanya hubungan yang dekat antar variabel. Terlihat bahwa dependensi tiap kedua variabel tidak begitu jelas. Meski demikian, dapat dikatakan variabel IDR-USD dan IDR-EURO memiliki korelasi cukup kecil dan keduanya saling mempengaruhi satu dengan yang lain. Berdasarkan hasil perhitungan parameter copula dengan observasi nilai Tau Kendall sesuai persamaan (13) dan (14) dapat diperoleh hasil nilai standar error dan z value sebagai berikut:

Tabel 5.
Estimasi parameter berbasis Tau Kendall

Mata Uang	Copula	Parameter	Std. Error	z value	Pr(> z)
USD-EURO	Gumbel	1,342809	0,024964	53,789590	0
	Clayton	0,685619	0,049928	13,732080	0
	Frank	2,427863	0,146832	16,534970	0
GBP-EURO	Gumbel	2,193851	0,048425	45,304490	0
	Clayton	2,387702	0,096849	24,653820	0
	Frank	6,602994	0,213419	30,939090	0
MYR-EURO	Gumbel	1,496911	0,029185	51,289750	0
	Clayton	0,993822	0,058371	17,026020	0
	Frank	3,289312	0,155841	21,106830	0
GBP-USD	Gumbel	1,458408	0,028581	51,026500	0
	Clayton	0,916816	0,057163	16,038690	0
	Frank	3,081556	0,155854	19,772110	0
GBP-MYR	Gumbel	2,212489	0,061007	36,266210	0
	Clayton	2,424978	0,122014	19,874630	0
	Frank	6,685020	0,268226	24,923100	0
USD-MYR	Gumbel	1,534253	0,030655	50,048280	0
	Clayton	1,068507	0,061311	17,427670	0
	Frank	3,486814	0,160659	21,703160	0

Berdasarkan hasil fitting, menunjukkan bahwa nilai *log likelihood* yang paling besar dimiliki pada variabel USD-EURO, GBP-MYR, USD-MYR, MYR-EURO, dan GBP-USD adalah copula gumbel sedangkan untuk variabel GBP-EURO nilai *log likelihood*nya yang paling besar adalah copula clayton. Jika digambarkan dalam scatter plot diperoleh hasil sebagai berikut:



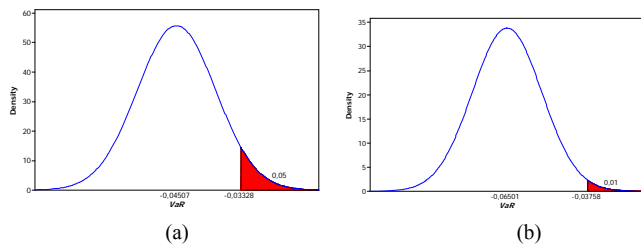
Gambar 5. Scatter copula gumbel antara USD –EURO (a) MYR-EURO (c) GBP-USD (d) GBP-MYR (e) USD-MYR (f) dan copula clayton antara GBP-EURO (b)

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa karakteristik dari copula gumbel mempunyai tail dependensi dibagian atas, dan copula clayton mempunyai tail dependensi dibagian bawah. Sesuai copulanya apabila dua variabel memiliki co-

pula gumbel maka nilai ekstrim terjadi pada nilai maksimum, sedangkan bila variabel tersebut mempunyai copula clayton maka nilai ekstrim terjadi pada nilai minimum dan antar variabel akan saling mempengaruhi satu sama lainnya.

4) Value at Risk

Pada kasus ini *back testing* dilakukan dalam periode 200 hari atau 1 tahun. *VaR* dilakukan dengan metode simulasi Monte Carlo. Data *back testing* merupakan data *return* 200 hari terakhir. Perhitungan nilai *VaR* dilakukan semua portofolio yang terbentuk dengan menggunakan bobot yang sama yaitu 0,25 untuk setiap variabelnya. *VaR* paling kecil berdasarkan perhitungan Copula adalah 4,507% yang berasal dari quantile tingkat kepercayaan 95% dengan ukuran sampel 200 dan bobot portofolio adalah bobot yang sama (0,25). Sedangkan *VaR* dengan tingkat kepercayaan 99% diperoleh 0,06501. Hasil analisa dalam portofolio ini merekomendasikan untuk menginvestasikan secara merata ke empat mata uang yaitu EURO, USD, GBP, dan MYR.



Gambar 8. Kurva *VaR* Portofolio Terbaik dengan tingkat kepercayaan 95% (a) dan 99% (b)

Sebagai studi kasus, misalkan investasi awal sebesar Rp. 100.000.000,- dan investasi portofolio dilakukan dalam periode 200 hari atau sekitar 1 tahun diperoleh *VaR* berdasarkan perhitungan metode simulasi Monte Carlo. Diperoleh pada tingkat kepercayaan 95% investor diperkirakan tidak akan mengalami kerugian lebih dari Rp. 4.507.035,- dari modal investasi Rp 100.000.000,- jika melakukan portofolio tersebut atau jika menggunakan tingkat kepercayaan 99% investor diperkirakan mengalami kerugian maksimum dari investasinya sebesar Rp. 6.501.434,- dari modal investasi awal jika melakukan portofolio secara merata ke empat mata uang tersebut.

V. KESIMPULAN

Pada *time series* plot terlihat bahwa data *return* USD, EURO, GBP, dan MYR stasioner karena rata-rata data pengamatan berada pada satu nilai konstan, yaitu nol. Fluktuasi nilai tukar rupiah terhadap USD, EURO, GBP, dan MYR terlihat memiliki varians yang tidak stabil. Copula yang terbaik adalah copula gumbel untuk variabel USD-EURO, MYR-EURO, GBP-MYR, USD-MYR dan GBP-USD sedangkan copula clayton untuk variabel GBP-EURO. Berdasarkan hasil perhitungan resiko portofolio dengan mengestimasi *VaR* portofolio nilai tukar mata uang menggunakan GARCH-copula, diperoleh bahwa diperoleh bahwa didapatkan besarnya *Value at Risk* dengan menginvestasikan secara merata ke empat mata uang yaitu EURO, USD, GBP, dan MYR adalah -0,04507,

maka besarnya resiko yang harus ditanggung seorang investor saat menggunakan portofolio ini adalah 4,507% dengan tingkat kepercayaan 95%. Apabila digunakan tingkat kepercayaan 99%, kerugian maksimum yang ditanggung investor sebesar 6,501%. Dalam permodelan ARIMA, sebaiknya dilakukan deteksi outlier sehingga model ARIMA yang dihasilkan lebih tepat menangkap outlier yang ada menggunakan fungsi transfer atau model intervensi. Untuk melakukan estimasi *Value at Risk* sebaiknya menggunakan proporsi dalam menentukan pembobot bagi tiap masing-masing nilai tukar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis F.A. mengucapkan terima kasih kepada PT. Semen Gresik (Persero), Tbk yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Semen Gresik pada tahun 2009-2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Shapiro, *Multinational Financial Managenet (5th Edition)*, USA: John Wiley & Sona Inc.
- [2] S. Manganelli dan R. F. Engle, *Value at Risk Models in Finance*, Germany: European Central Bank (2001).
- [3] N. G. Polson dan B. V. Tew, "Bayesian Portfolio Selection: An Empirical Analysis of the S&P 500 Index 1970-1996," *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 18, No. 2 (2000, April) 164-173.
- [4] I. Roy, *Estimation of portofolio value at Risk using Copula*. India: Departement of Economic and Policy Research- Reserve Bank of India: (2011)
- [5] R. Ni'mah, "Aplikasi Bayesian Information Criterion (BIC) untuk pemilihan portofolio : Studi Kasus Indeks LQ45," Tugas Akhir Jurusan Statistika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2012).
- [6] W. C. Lee dan H. N. Lin, "Portfolio value at risk with Copula-ARMAX-GJR-GARCH model : Evidence from the gold and silver futures," *African Journal of Business Management*, Vol. 5, No. 5 (2010) 1650-1662.
- [7] E. Tandelilin, *Analisis Investasi dan Manajemen Portofolio*, Yogyakarta: BPFE (1997).
- [8] R. A. Sularso, "Pengaruh Pengumuman Deviden terhadap Perubahan Harga Kurs (*Return*) Sebelum dan Sesudah *Ex-dividend Date* di Bursa Efek Jakarta (BEJ)," *Jurnal Akuntansi & Keuangan* Vol. 5, No. 1 (2003) 1-17.
- [9] D. Salvatore, *Ekonomi Internasional Edisi Kelima Jilid 1 (Terjemahan)*, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta (1996).
- [10] T. Bollerslev, "Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity," *Journal of Econometrics*, Vol. 31 (1986) 307-327.
- [11] R. F. Engle, "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the variance of United Kingdom Inflation," *Journal of Econometrica*, Vol. 50, No. 4 (1982) 987-1007.
- [12] D. A. Marudani dan A. Purbowati, "Pengukuran *Value at Risk* pada Kurs Tunggal dan Portofolio dengan Simulasi Monte Carlo," *Media Statistika*, Vol. 2, No. 2 (2009) 93-104.